



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK TŘÍSEK

WORM CHIP CONVEYOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Milan Bilíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Milan Biliček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Šnekový dopravník třísek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě rozsáhlé rešerše dopravníků třísek vybrat a provést výpočet a konstrukční řešení tohoto dopravníku.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat rozsáhlou rešerši třískových dopravníků včetně výrobců.

Navrhnout konstrukci dopravníku.

Vypracovat technickou zprávu se základními technickými výpočty.

Nakreslit sestavný výkres zařízení a důležité detailní výkresy.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je konstrukční návrh šnekového dopravníku pro dopravu třísek. Spolu s konstrukčním návrhem je v této práci obsažena i technická zpráva se základními technickými výpočty. V rešeršní části jsou popsány další druhy třískových dopravníků včetně významných výrobců. Obsahem této práce je také výkresová dokumentace navrženého dopravníku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Šnekový dopravník, ocelové třísky, šnek, pohon

ABSTRACT

The aim of this thesis is the design of screw conveyor for transporting chips. Together with the design this thesis also includes technical report with basic calculations. In the search section, other types of chip conveyors, including major manufacturers, are described. The content of this work is also the drawing of the designed conveyor.

KEYWORDS

Screw conveyor, steel chips, screw, drive



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BILÍČEK, Milan. *Šnekový dopravník třísek*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 48 s. Vedoucí práce Jiří Malášek.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Milan Bilíček



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za odborné rady a připomínky, které mi v průběhu vypracovávání této práce poskytl.

OBSAH

Úvod	10
1 Třísky vzniklé obráběním	11
2 Druhy třískových dopravníků	13
2.1 Článekový dopravník	13
2.2 Pásový dopravník	14
2.3 Pneumatický dopravník	15
2.4 Harpunový dopravník	15
2.5 Hrablový dopravník	16
2.6 Magnetický dopravník	17
2.7 Vibrační dopravník	18
3 Filtrační zařízení	20
3.1 Pásový filtr	20
3.2 Bubnový filtr	21
3.3 Magnetický filtr	21
3.4 Vakuový rotační filtr	22
4 Výrobci třískových dopravníků	23
4.1 Hennig	23
4.2 Astos	23
4.3 Mayfran	24
4.4 Tecnimetal	25
4.5 Titan conveyors	26
4.6 Hennlich	26
5 Šnekový dopravník	27
5.1 Části šnekového dopravníku	29
5.1.1 Šnek	29
5.1.2 Dopravní žlab	30
5.2 Základní výpočty	31
5.2.1 Průměr šnekovnice	31
5.2.2 Kritické otáčky	32
5.2.3 Střední dopravní rychlost	32
5.2.4 Potřebný výkon pohonu	32
5.3 Návrh pohonu	33
5.4 Návrh spojky	34
5.4.1 Kontrola pera na otlačení	34
5.5 Zatížení ložisek	35

5.6	Návrh ložisek	36
5.6.1	Ložisko na výstupu	36
5.6.2	Ložisko na vstupu	37
5.7	Návrh šnekové hřídele	38
5.8	Návrh žlabu	40
5.9	Návrh lícovaných šroubů	40
5.9.1	Průměr lícovaného šroubu	41
5.9.2	Pevnostní kontrola	41
Závěr		42
Seznam příloh		48

ÚVOD

Obrábění je v současnosti jednou z nejrozšířenějších a nejpoužívanějších technologií v průmyslovém odvětví. Tato technologie sebou ovšem přináší vedlejší produkt ve formě třísky. Její odvod z prostoru obráběcího stroje je velice důležitý z mnoha důvodů. Pokud by například třísky zasahovaly do pracovní části stroje, mezi obrobek a nástroj, mohlo by dojít jak ke zhoršení jakosti povrchu obrobku, tak i ke snížení životnosti nástroje. Dalším důvodem může být i bezpečnost na pracovišti.

V současné době se na trhu vyskytuje mnoho výrobců dopravníků zabývajících se touto problematikou. Výběr vhodného dopravníku ze široké škály je podmíněn několika faktory. Jedním z nich může být typ provozu, ve kterém se bude uplatňovat, dále pak například druh vzniklé třísky a ekonomické možnosti firmy.

Díky velké rozšířenosti výrobců těchto zařízení může zákazník požadovat specifické vlastnosti vyhovující danému provozu jako například dopravovanou vzdálenost, rychlost přepravy třísek či přepravní kapacitu. [2]

Šnekový dopravník má v oblasti třískového hospodářství velmi úzké využití, jelikož je vhodný pro přepravu specifických typů třísek. Kvůli jednoduchosti konstrukce a kompaktním rozměrům však stále nachází uplatnění. Přepravní výkon tohoto zařízení je v porovnání s ostatními konvenčními dopravníky nižší. I z tohoto důvodu nachází šnekový dopravník uplatnění například u obráběcích center, kde dopravuje třísky do jiného dopravního systému.

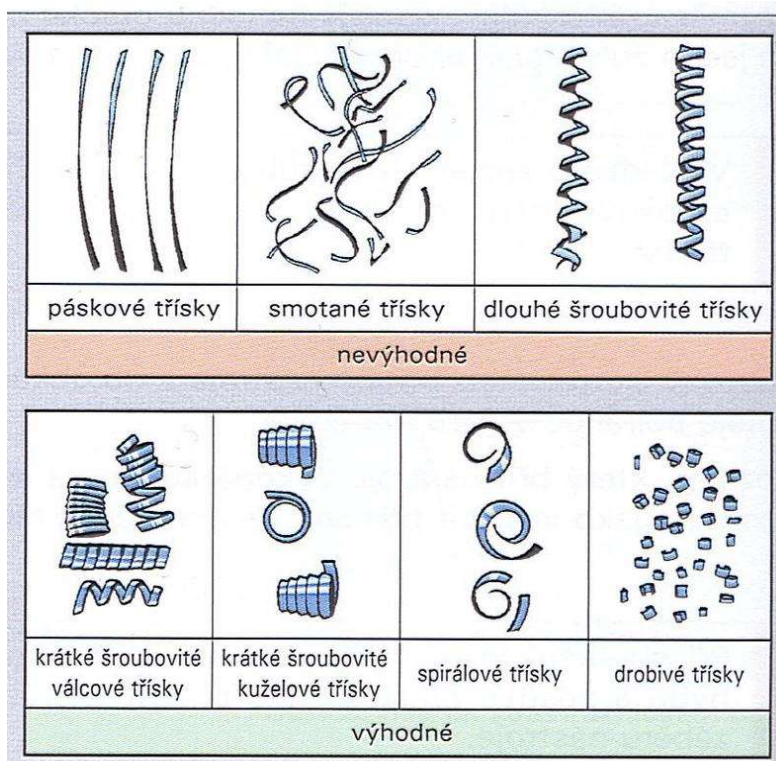
Cílem mé práce je navrhnout šnekový třískový dopravník včetně výkresové dokumentace a výpočtové zprávy, který bude splňovat výchozí parametry. Dále zpracování rešerše týkající se této problematiky a porovnání několika vybraných výrobců třískových dopravníků.

1 TŘÍSKY VZNIKLÉ OBRÁBĚNÍM

Jelikož vhodná volba třískového dopravníku je dána především druhem a materiálem třísky, je vhodné se seznámit s jejich vznikem během obrábění. Při této řezné operaci vzniká několik druhů třísek lišící se velikostí a tvarem. Snahou je, aby třísky zaujímaly co možná nejmenší objem, a to především pro snadnější odstraňování z pracovního prostoru stroje a jejich následné dopravy pomocí dopravníku. Drobné a krátké třísky jsou vhodnější také z hlediska samotné technologie. Třísky dlouhé a plynulé se mohou namotat na nástroj a následně jej poškodit. Plynulé třísky navíc zhoršují kvalitu obrobeného povrchu a mohou být také nebezpečné pro obsluhu stroje. [2] [18]

Vznik třísky ovlivňují tyto faktory:

- Vlastnosti obráběného materiálu
- Geometrie nástroje
- Řezné podmínky
- Materiál nástroje

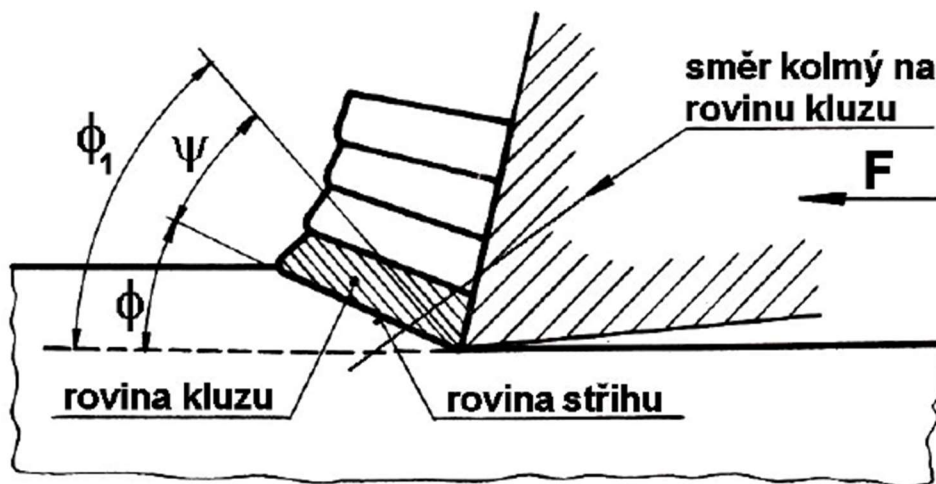


Obr. 1 Tvary třísek [18]

Drobná tříska vzniká především u křehkých materiálů při obrábění malými řeznými rychlostmi a malým úhlem čela nástroje. Naopak plynulé třísky vznikají při velkých řezných rychlostech, a to u houževnatých materiálů. Nevýhody spjaté s plynulými třískami jsou popsány výše, a z těchto důvodů je potřeba tyto třísky lámat. [18]

Lámání tohoto typu třísky je uskutečněno pomocí lamače a utvařeče třísek. Mezi nejběžnější utvařeče třísek patří žlábkové utvařeče, avšak mohou být také vybrušované, vyjiskřované nebo mechanické. Lamače třísek jsou mechanicky upnuty k řeznému nástroji a mají tvar destičky.

Během vnikání řezného nástroje do obráběného materiálu silou F se koncentruje napětí před a pod břitem nástroje, což má za následek vznik pružných a plastických deformací. Pokud pohyb nástroje stále pokračuje, zvýší se napětí až do hodnoty stříhové meze pevnosti. Při jejím překročení dojde k oddělení třísky, a to pod úhlem stříhu ϕ . Rozdíl úhlů ϕ a ϕ_1 je dán úhlem ψ . Ten se mění vlastnostmi obráběného materiálu a obecně se pohybuje mezi $(0\div30)^\circ$. [19]










Obr. 2 Vznik třísky [2]

Další možností, jak vyjádřit objem třísky je objemový součinitel třísek. Z obr. 3 lze vidět, že čím je tato hodnota menší, tím méně zabírají třísky prostoru a jsou tedy vhodnější pro další manipulaci. [2],[19]

Objemový součinitel W je vyjádřený vztahem: $W = \frac{V_t}{V_m} [-]$, kde

V_t objem volně ložených třísek [dm^3]

V_m objem odebraného materiálu [dm^3]

TVAR TŘÍSEK		W	TVAR TŘÍSEK		W
	STUŽKOVÉ DLOUHÉ	400 a více		SPIRÁLOVÉ PLOCHÉ	10 až 20
	STUŽKOVÉ SMOTANÉ	300 až 400		OBLOUKOVITÉ SPOJENÉ	8 až 10
	VINUTÉ DLOUHÉ	80 až 150		ELEMENTÁRNÍ	4 až 6
	VINUTÉ KRÁTKÉ	40 až 60			

Obr. 3 Hodnoty W pro zvolené tvary třísek [2]

2 DRUHY TŘÍSKOVÝCH DOPRAVNÍKŮ

Třískové dopravníky jsou hojně využívány v podnicích, kde je nutnost rychle a spolehlivě odstraňovat třísky vzniklé obráběním. Jedná se především o velkokapacitní výrobce, kteří se zabývají sériovou výrobou, a to zejména pomocí CNC strojů. U firem vyrábějící obrobky v menším množství k vidění tak četně nejsou, jelikož náklady na jejich pořízení a údržbu jsou často značné.

2.1 ČLÁNKOVÝ DOPRAVNÍK

Článekový dopravník je pravděpodobně nejrozšířenějším druhem dopravníků pro přepravu všech typů třísek. Je také vhodný pro různorodé materiály třísek jako například ocel, hliník, mosaz ale i plast. Uplatnění nachází tam, kde již nedostačuje dopravník pásový. Oproti pásovému dopravníku se zde tažný orgán vyskytuje ve formě dvou řetězů. Nosným orgánem je zde článekový pás, který se vyrábí v několika variantách:

- Plochý
- Plochý s výstupky
- Děrovaný (perforovaný)
- Kombinovaný

Velkou výhodou tohoto typu dopravního pásu je jeho odolnost proti opotřebení, popřípadě proti zvýšeným teplotám. Šířka pásu závisí na daném provozu a pohybuje se v rozmezí 200÷2000 mm. Na bočních stranách pásu jsou většinou situované bočnice, které zabraňují nechtěnému vypadnutí třísek. Dle potřebného účelu mohou mít pásy tvar například korýtek, žlabů, desek apod.

Jako tažný orgán se využívá řetěz:

- Gallův
- Pouzdrový (obr.4)
- Válečkový
- Kladkový

Třísky jsou dopravovány na pás přes násypku, poté jsou pomocí článekového pásu poháněného dvojicí řetězů přepraveny na druhý konec, kde se nachází tzv. výsypka, přes kterou se vzniklé třísky dostanou do zásobníku. Pás s řetězy musí být podepřen buď kluzným uložením, nebo pomocí podpěrných kladek. Stejně jako u většiny dopravníků, je i zde jako pohon použit asynchronní elektromotor uložený v hnací stanici. Při vhodném tvarování nosného orgánu, lze dopravovat materiál se sklonem. Dopravní vzdálenosti mohou dosahovat i délek desítek metrů, a dopravní výkon až $1000 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$. [1], [4]



Obr.4 Ukázka článkového dopravníku [5]

2.2 PÁSOVÝ DOPRAVNÍK

Přepravuje materiál především ve vodorovném případně mírně šikmém směru. Pás zde tvoří tažný i nosný orgán. Kvůli jeho konstrukci však není vhodný pro použití s řeznou kapalinou.

Podle materiálu pásu, rozdělujeme dopravníky s pásy:

- Pryžovými
- Textilními
- Ocelovými
- Pletivovými

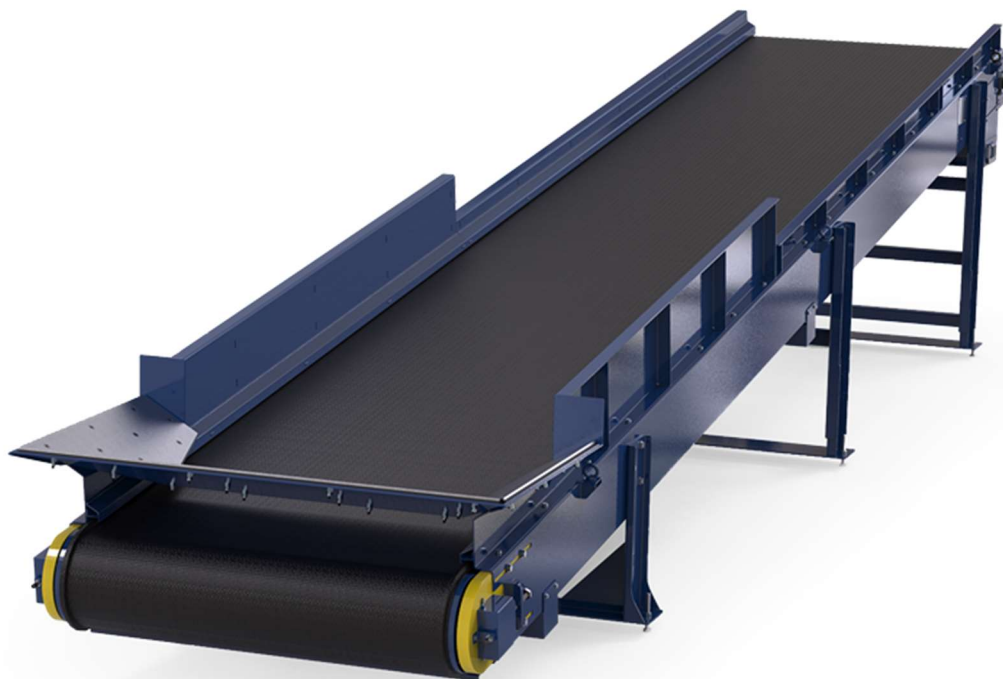
V oblasti třískového hospodářství se nejvíce využívají pásy z umělých hmot jako např. PVC či polyuretan. Tyto materiály se vyznačují dobrou odolností proti zvýšeným teplotám (až do 80 °C), a také jsou odolné proti olejům a mastnotě.

Volba šířky pásu je dána především požadovanou výkoností a mechanickými vlastnostmi dopravovaného materiálu. Pásy se vyrábí v normalizovaných šířkách od 400 do 2400 mm. Pro správný chod je slouží napínací zařízení, které vyvolává napínací sílu nezbytnou pro získání dostatečného tření mezi hnacím bubnem a pásem.

Horní i spodní větev podpírají válečkové stolice. Do nich se vkládají válečky, které mají značný vliv na vlastnosti celého dopravníku. Válečky mají malou hmotnost a bývají utěsněny proti vnikání nečistot. Vyrábějí se dvou konstrukčních provedeních:

- S pevnou osou
- S čepy ve víku

K pohonu dopravníku slouží poháněcí stanice. Ta se skládá z elektromotoru, převodové skříně, spojky a brzdy. Z důvodu kompaktnosti může být poháněcí stanice uložena v hnacím bubnu (elektrobuben). [23], [5]



Obr. 5 Ukázka pásového dopravníku [5]

2.3 PNEUMATICKÝ DOPRAVNÍK

Tento dopravník slouží k odebrání třísek přímo z CNC stroje. Doprava třísek se zde děje nad zemí pomocí potrubí, které může být desítky metrů dlouhé. Velkou výhodou tohoto konceptu je ušetření místa na podlaze haly, což se hodí ve stísněných prostorech. Dokáže přepravovat třísky jak suché, tak i mokré. Pneumatické dopravníky jsou většinou automatizované pomocí PLC s rozhraním HMI. [12]

2.4 HARPUNOVÝ DOPRAVNÍK

Harpunové dopravníky se využívají pro přepravu velkého množství třísek. Samotné tělo dopravníku se může vyrábět vodotěsné z důvodu zpětného získávání rezných kapalin. Třísky se zde dopravují na delší vzdálenosti. Vhodné pro tento typ dopravníku jsou i plynulé třísky, jelikož v průběhu přepravy dochází k jejich drcení pomocí harpunových trnů. [20],[21]

Přepravované třísky padají do koryta, které bývá velmi často vyrobeno z ořezavzdorné oceli (HARDOX). Pomocí beranu konající vratný pohyb a trnů v korytě, probíhá dopředný pohyb třísek do sběrné nádoby. [11]



Obr. 6 Ukázka harpunového dopravníku [20]

2.5 HRABLOVÝ DOPRAVNÍK

Hrablový dopravník se používá především u materiálů, ze kterých vznikají drobné, lámavé třísky jako například litina, mosaz, bronz ale i hliník. Naopak nevhodné jsou pro dlouhé třísky. Z důvodu přímého kontaktu třísek s dnem dopravníku, musí být vyroben z vysoce ořezavzdorného materiálu, aby se zvýšila životnost stroje. [8]

Drobné třísky padají přímo na dno dopravníku. Poté jsou zachyceny a stírány pomocí hrabel na jeho konec. Přes výsypku jsou následně odváděny do sběrné nádoby.



Obr.7 Ukázka hrablového dopravníku[15]

2.6 MAGNETICKÝ DOPRAVNÍK

Magnetický třískový dopravník je nejvíce využíván v podmínkách, kdy by tradiční dopravníky mohly být porušeny nebo znečištěny dopravovanou třískou. Tento dopravník je vhodný zejména pro jemné, lámavé třísky, ale zároveň dokáže dopravovat i drobné výlisky z plechu či odpad. Je efektivní u dopravy velice malých třísek, které bychom nemohli odstranit standardními dopravníky. Na druhou stranu jej lze uplatnit pouze u feromagnetických materiálů z důvodu jeho principu dopravy. [1], [9]

Třísky dopadají na ocelový pás a jsou posouvány pomocí permanentních magnetů, které se nachází pod pásem, zároveň jsou upevněny na speciálních řetězech. Samotný pás je nepohyblivý a bývá vyroben z nerezové oceli. [1], [7]



Obr.8 Ukázka magnetického dopravníku [7]

2.7 VIBRAČNÍ DOPRAVNÍK

Vibrační dopravník patří spolu se šnekovým dopravníkem do skupiny dopravníků bez tažného prostředku. Má široké spektrum využití, co se týče velikostí i materiálů dopravovaných třísek. Vibrační dopravníky se rozdělují dle pohybu dopravovaného materiálu do dvou skupin, na dopravníky impulzní a s mikrovřhem. V prvním případě je materiál po celou dobu přepravy v kontaktu se žlabem na rozdíl od druhé skupiny, kdy se materiál během přepravy odděluje od žlabu a pohyb je konán mikrovřhem. Třísky jsou dopravovány v plechovém žlabu, který vykonává vibrační pohyb pomocí buď kmitů nebo jiného pohonu. Vibrační pohyb způsobuje následný pohyb třísek. [9], [4]



Obr.9 Ukázka vibračního dopravníku [10]

3 FILTRAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Během obrábění se velmi často využívají chladicí a řezné kapaliny či emulze. Tato řezná média vytvářejí tzv. řezné prostředí, které je velice důležité pro samotný řezný proces. Během obrábění plní chladicí, mazací a čistící funkci. Při odstraňování třísek je třeba tyto kapaliny a emulze filtrovat tak, aby se po filtraci mohly dále využívat. K tomuto účelu slouží filtry, jež mohou být instalovány spolu s dopravníkem nebo samostatně. Rozeznáváme 3 základní druhy těchto zařízení: mechanické filtry, magnetické filtry, popřípadě kombinace těchto dvou. [12],[2]

3.1 PÁSOVÝ FILTR

Tento filtr spadá do kategorie mechanických filtrů, a je jedním z nejběžnějších na trhu. Filtrace zde probíhá pomocí filtrační tkaniny, přes kterou proudí kapalina. Tato tkanina zbytkové nečistoty typu jemných třísek či brusného prachu zachytí a po filtraci tedy zůstane čistá kapalina. Jemnost filtrace závisí na typu filtrační tkaniny a je určena propustností pevných částic v mikrometrech. [11], [7], [1]



Obr.10 Ukázka pásového filtru [13]

3.2 BUBNOVÝ FILTR

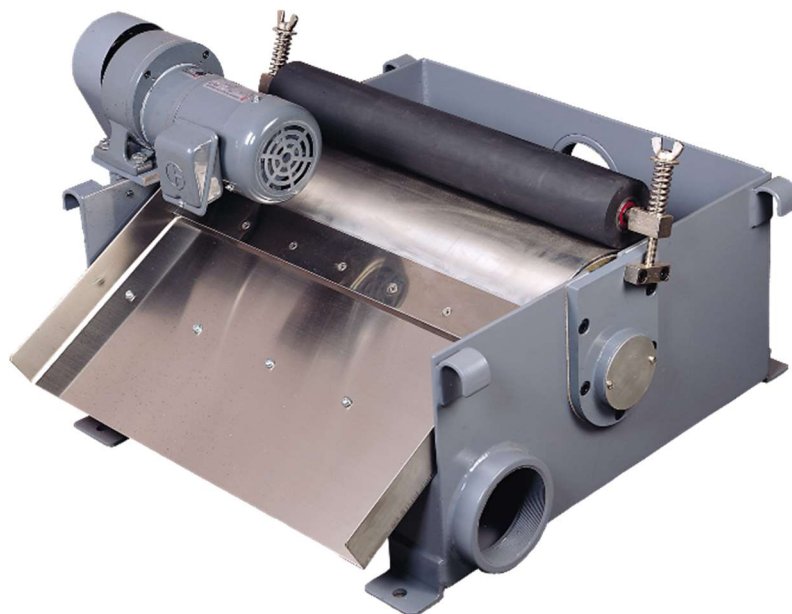
Stejně jako pásový, patří i bubnový filtr do skupiny mechanických filtračních zařízení. Filtrační tkanina je zde navinuta na buben, do kterého je přiváděna kapalina s nečistotami. Výhodou bubnového filtru jsou jeho menší rozměry oproti pásové filtraci. [11], [7]



Obr.11 Ukázka bubnového filtru [7]

3.3 MAGNETICKÝ FILTR

Magnetické filtry, na rozdíl od předchozích zmíněných nepoužívají při práci filtrační aparát ve formě tkanin. Filtrace zde probíhá pomocí několika magnetických disků, které zachycují nečistoty. Tyto filtry se v provozu používají často ve spolupráci s jinými filtry, jelikož výsledná filtrace zde není tak jemná. Jsou vhodné zejména pro hrubší čištění procesních kapalin. Lze je využít pouze pro filtraci feromagnetických nečistot. [14], [15]



Obr.12 Ukázka magnetického filtru [12]

3.4 VAKUOVÝ ROTAČNÍ FILTR

Krom tradičních filtrů rezných kapalin či emulzí se můžeme v provozu setkat i s méně běžnými filtry jako je například filtr vakuový. Filtrace nečistot zde probíhá pomocí vakuového čerpadla, které je spojeno s filtračním bubnem a čerpá do něj kapalinu. Částice nečistot zůstávají na povrchu filtračního bubnu pomocí jemného filtru. Po dosažení vakua dochází k automatickému oplachu bubnu. K filtru je také instalovaný „škrabák“, který odstraňuje kal vzniklý na povrchu bubnu během procesu. [16]



Obr.13 Ukázka vakuového filtru [16]

4 VÝROBCI TŘÍSKOVÝCH DOPRAVNÍKŮ

4.1 HENNIG

Firma Hennig byla založena roku 1950 v Mnichově. Postupem času expandovala i do jiných zemí jako například Mexiko, USA, Kanada ale i Česká republika. Firma se zabývá nejen dopravníky třísek, ale i například ochranou strojů do níž spadají teleskopické ocelové kryty, stírací systémy, modulární štíty pro ochranu obsluhy aj. V oblasti třískového hospodářství vyrábí dopravníky článkové, hrablové, magnetické, šnekové ale i celé dopravníkové sítě. Zákazník si zde může dokonce objednat dopravník „na míru“, kdy si sám zvolí dané parametry dopravníku, jež by měl splňovat. Firma Hennig také poskytuje servisní podporu zákazníkům při výskytu problému. [5]



Obr.14 Hrablový dopravník firmy Hennig [5]

4.2 ASTOS

Tato společnost vznikla v České republice konkrétně v Aši. Své zákazníky má ovšem po celém světě. Zabývá se výrobou dopravníkových systémů a automaticky řízených linek k CNC strojům. Mezi další oblasti výroby patří filtrační zařízení a krytování obráběcích a lisovacích strojů. Na obr.12 je k vidění hrablový dopravník vyráběný touto společností. [7]



Obr.15 Hrablový dopravník firmy Astos [7]

4.3 MAYFRAN

Firma byla založena v USA roku 1933. Nyní má několik desítek poboček po celém světě včetně České republiky, konkrétně v Mělníku. Mezi výrobky této společnosti patří třískové dopravníky, filtrační zařízení, zařízení pro separaci, trhání a briketování materiálu. Jejich výrobky nacházejí uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích jako například automobilový průmysl, letectví a kosmonautika ale i zdravotnictví. V oblasti dopravy třísek se zabývá zejména pásovými dopravníky, ale vyrábí i dopravníky hrablové a magnetické. [10]



Obr.16 Hrablový dopravník firmy Mayfran [10]

4.4 TECNIMETAL

Tato firma se specializuje na výrobu krytování a příslušenství k obráběcím strojům. V České republice má své zastoupení ve Zlíně, avšak jejich výrobky jsou k vidění v mnoha státech EU. V rámci dopravy třísek se zabývá dopravníky šnekovými, hrablovými a článkovými. Při požadavku zákazníka nabízejí dopravník v sestavě s filtračním zařízením pro filtraci procesních kapalin a olejů. [17]



Obr.17 Hrablový dopravník firmy Tecnimetal [17]

4.5 TITAN CONVEYORS

Od roku 1981 vyrábí tato společnost dopravníky pro širokou škálu aplikací a průmyslových odvětví. Zabývá se zejména výrobou dopravníků na zakázku dle požadavků zákazníka. Do široké nabídky dopravníků patří například dopravník pásový, článkový či hrablový. Dále pak nabízí válečkový dopravník v různých variantách, pro přepravu objemnějších nákladů. Firma se pyšní svým individuálním přístupem k zákazníkům a kvalitou zpracování vyrobených zařízení. V případě potřeby si zde může zákazník zakoupit náhradní díly pro dané zařízení. [3]



Obr.18 Hrablový dopravník firmy TitanConveyors [3]

4.6 HENNLICH

Historie této společnosti sahá až do roku 1922, kdy byla založena v Duchcově. V současné době má své pobočky v mnoha zemích EU včetně České republiky. Během svého působení na trhu získala řadu ocenění a je držitelem několika certifikátů jako např. ISO 9001 a ISO 14001. Firma se zabývá velkým počtem výrobků z různorodých odvětví. V oblasti třískového hospodářství nabízí pásový, hrablový, šnekový dopravník a jejich příslušenství. Mezi další produkty této společnosti patří např. čerpací technika, trysky, pneumatické prvky, chladiče a výměníky tepla aj. [8]

5 ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK

Tento typ dopravníku není v třískovém hospodářství tak hojně využíván, neboť je vhodný zejména pro malé, drobné, zrnité třísky, a především pro sypké materiály. Použití nachází pro jeho kompaktní rozměry především v omezených prostorech. Ve většině případů přepravuje třísky z obráběcího prostoru do jiného systému. Dopravní výkony se zde pohybují v řádů jednotek až desítek [$m^3 \cdot h^{-1}$], dopravní rychlost obvykle nepřesahuje $0,5[m \cdot s^{-1}]$. Dopravní délka leží v rozsahu $1 \div 10$ m.

Z hlediska směru dopravy lze šnekový dopravník rozdělit:

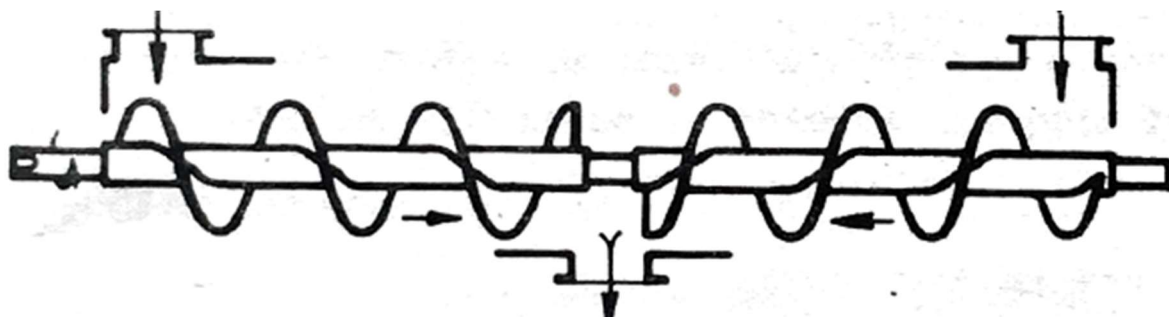
- Horizontální
- Vertikální, obr.3
- Šikmý, obr.2

Oproti většině dopravníků se zde nevyskytuje žádný tažný element např. ve formě pásu či řetězu. O dopravu třísek se zde stará šnek, který se skládá ze šnekové hřídele a šnekovnice, která je na ni navařena. Díky jednoduchosti konstrukce se tento dopravník může vyrábět i v mobilní variantě. [4]



Obr.19 Šikmý šnekový dopravník [6]

K posouvání materiálu dochází při otočení šneku. Směr dopravy je dán směrem stoupání šnekovnice a smyslem jejího otáčení. Pomocí kombinace směru stoupání a smyslu otáčení lze například dosáhnout protichůdného pohybu materiálu v jednom žlabu (obr.20). [23]



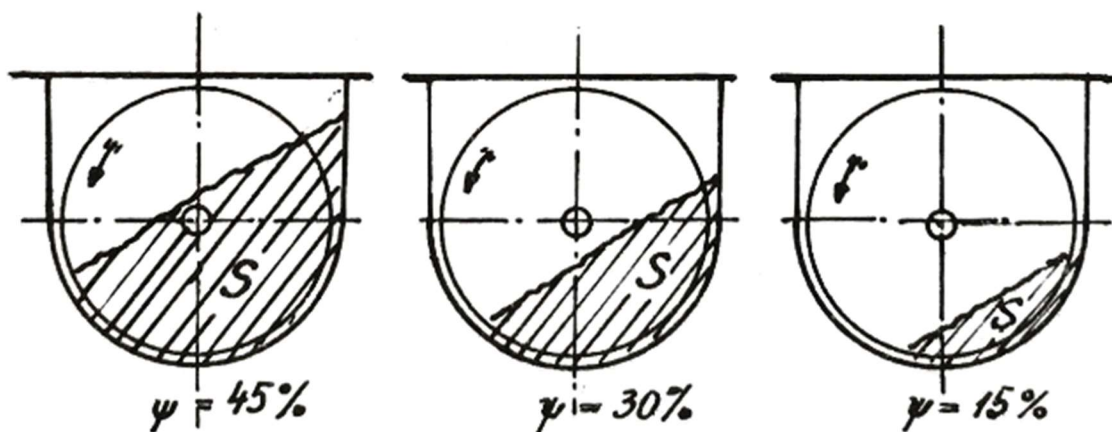
Obr. 20 Schéma pohybu materiálu v protichůdných směrech [23]

Pro správnou funkčnost dopravníku se musí určit stupeň plnění žlabu dle vztahu $\psi = \frac{S}{\frac{\pi D^2}{4}} [-]$

Kde:

S..... průřezová plocha materiálu ve žlabu [m^2]

D..... průměr šnekovnice [m]



Obr. 21 Využití průřezu žlabu pro různé součinitele plnění [24]

5.1 ČÁSTI ŠNEKOVÉHO DOPRAVNÍKU

5.1.1 ŠNEK

Pomocí této části šnekového dopravníku probíhá pohyb dopravovaného materiálu. Svou konstrukcí ovlivňuje vlastnosti celého dopravníku. Jedná se tedy o jeden z nejdůležitějších prvků celého zařízení. Šnek je tvořen dvěma částmi, a sice šnekovnicí a šnekovou hřídelí. Šnekovnice se vyrábí ve více provedeních. Z hlediska konstrukce může být:

- a) Plná
- b) Obvodová
- c) Lopatková
- d) Kuželová



Obr. 22 Plná šnekovnice [4]

Plná šnekovnice se v praxi využívá nejvíce. Vyrábí se především z ocelových plechů různých materiálových tříd. Druh oceli na její výrobu se volí zejména dle dopravovaného materiálu. Nejobvyklejší technologický postup výroby šneku je navařování jednotlivých listů šnekovnice k hřídeli. Další možností je válcování plechu, kdy se využívá řízené deformace k vytvoření požadovaného tvaru šnekovnice.



Obr. 23 Obvodová šnekovnice [4]

Obvodová šnekovnice je využívána tehdy, když nelze pro dopravu materiálu využít šnekovnici plnou. Taková situace může nastat, když je přepravovaný materiál tuhý či lepivý, a tudíž nepřepavitelný pomocí plné šnekovnice. U takového materiálu by totiž velice pravděpodobně docházelo k ulpívání na šneku, a to především v místě spojení hřídele a šnekovnice. Výroba zde probíhá válcováním za tepla mezi kónickými kotouči. K hřídeli je svařena pomocí držáků z ocelových plechů.



Obr. 24 Lopatková šnekovnice [4]

Lopatková šnekovnice dopravuje materiály, u kterých je žádoucí nejen přeprava, ale i důkladné promíchání. Není vhodná pro sypké látky. Samotné lopatky se u tohoto typu šnekovnice vyrábí v různých tvarových provedeních.



Obr. 25 Kruželová šnekovnice [4]

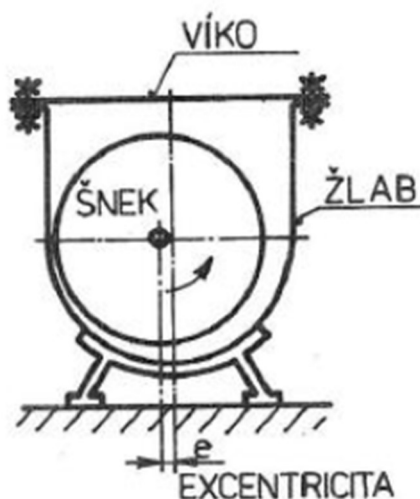
Kruželová šnekovnice se vyrábí obdobně jako plná. Největší rozdíl je však v konstrukci, kdy se plynule mění její profil po celé délce. V některých případech se může vyrábět i s proměnlivým stoupáním. U materiálu probíhá buď stlačování nebo kypření. Jestliže je materiál přivážen do místa nejmenšího průřezu a stoupání, dochází k jeho kypření.

Hřídel šneku slouží pro přenos kroutícího momentu od pohonu na šnekovici. Dle potřebné délky se vyrábí z tyče kruhového průřezu nebo trubky. Hřídel je na obou koncích uložena ve dvojici valivých ložisek, která jsou namáhána i axiální silou, která zde vzniká. Výstupní moment z převodovky se může přenášet pomocí pružné spojky. Tato koncepce je využívána u větších dopravníků a v případech, kdy hrozí vznik vibrací během chodu. U nižších výkonů může být pohon přichycen k čelu dopravníku pomocí příruby. U dlouhých hřídelí je nutné použití podpěrných kluzných ložisek, a to ve vzdálenostech $2,5 \div 3$ m. [4]

5.1.2 DOPRAVNÍ ŽLAB

Žlab utváří vnější nosnou část šnekového dopravníku. Jeho velikost je dána rozměry šneku a dopravovaným materiálem. Vyrábí se skružováním či ohýbáním plechu o tloušťce $2 \div 8$ mm. Nejčastěji má tvar U, ovšem lze najít i jiná provedení. Aby nedocházelo ke styku žlabu a šnekovnice, je dána minimální potřebná vůle o velikosti $3 \div 10$ mm. Podle potřeby se může vyrábět s horním víkem. U této koncepce je také možnost vzduchotěsnosti, prachotěsnosti či vodotěsnosti celého dopravníku. Materiál může být do žlabu přiváděn přes násypku, anebo v případě otevřeného žlabu bez víka, lze přivádět materiál po celé délce žlabu. Přivádění materiálu by však mělo být, pokud možno rovnoměrné. Odvod z dopravníku je také možno provést v libovolném místě, nejčastěji se k tomu využívá tzv. výsypka.

Šnek je uložen ve žlabu excentricky, a to z důvodu snížení rizika zadrhnutí přepravovaného materiálu. Vůle mezi šnekovnicí a žlabem se zvětšuje ve směru otáčení, tímto způsobem se zmenší mechanické opotřebení šneku i žlabu. [23]



Obr. 26 Excentrické uložení šneku ve žlabu [23]

5.2 ZÁKLADNÍ VÝPOČTY

Výchozí parametry:

Dopravní objemový výkon: $Q_v = 1 \text{ [m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}\text{]}$

Dopravní vzdálenost: $L_d = 1,5 \text{ [m]}$

Otáčky šneku: $n = 0,3 \text{ [s}^{-1}\text{]} = 18 \text{ [min}^{-1}\text{]}$

Při následujících výpočtech jsem vycházel z předpokladu dopravy ocelových třísek s hustotou $\rho = 7850 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$.

5.2.1 PRŮMĚR ŠNEKOVNICE

$$Q_v = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} s \cdot \psi \cdot n \cdot c_H \quad (1)$$

Ze vztahu 1) dle lit. [4] str. 272 lze vyjádřit průměr šnekovnice D_s následovně:

$$D_s = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot Q_v}{3600 \cdot \pi \cdot \psi \cdot n \cdot c_H}} \quad [\text{m}]$$

$$D_s = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1}{3600 \cdot \pi \cdot 0,15 \cdot 0,3 \cdot 1}} = 0,199 \text{ m}$$

Kde:

s stoupání šnekovnice, dle lit. [4] str. 270 zvoleno $s=D$

ψ součinitel plnění žlabu, dle lit. [4] str. 271 zvolena hodnota 0,15 pro abrazivní materiály

n otáčky šneku, zadáno $n = 0,3 [s^{-1}]$

c_H korekční součinitel při sklonu dopravníku, u vodorovné dopravy $c_H = 1$ dle lit. [4] str. 272

Dle ČSN ISO 1050 volím nejbližší průměr $D_s=200$ mm. S ohledem na dopravovaný materiál, který je velmi abrazivní byl zvolen materiál šnekovnice HARDOX 400, tedy ořezuvzdorná ocel o tloušťce plechu $t=6$ mm.

5.2.2 KRITICKÉ OTÁČKY

Při kritických otáčkách se odstředivá síla působící na materiál rovná tíze materiálu. Za tohoto stavu dochází k selhávání schopnosti dopravníku přepravovat materiál. Pro správný chod dopravníku je potřeba splnění podmínky [4]:

$$n \leq n_{kr}$$

$$n_{kr} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{R}} \quad [s^{-1}] \quad (2)$$

$$n_{kr} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{9,81}{0,1}} = 1,57 \text{ s}^{-1}$$

$$n = 0,3 \quad [s^{-1}]$$

$$0,3 \leq 1,57$$

Vztah 2) dle lit. [4] str. 272

Kde:

Rpoloměr šnekovnice, ze zadání $R=100$ [mm]

5.2.3 STŘEDNÍ DOPRAVNÍ RYCHLOST

$$v = s \cdot n \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (3)$$

$$v = 0,2 \cdot 0,3 = 0,06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

5.2.4 POTŘEBNÝ VÝKON POHONU

$$P_m = \frac{Q_v \gamma \cdot g}{3600} \cdot (l_d \cdot w \pm h) \quad [W] \quad (4)$$

$$P_m = \frac{1 \cdot 7850 \cdot 9,81}{3600} \cdot (1,5 \cdot 4,4 \pm 0)$$

$$P_m = 141 \text{ W}$$

Vztah 4) dle [23] str. 209

Kde:

l_d dopravní vzdálenost [m]

w celkový součinitel odporu, dle lit. [4] str.273 pro velmi abrazivní materiály $w=4,4$

h dopravní výška [m]

γ sypná hmotnost materiálu [$kg \cdot m^{-3}$], pro zjednodušení výpočtu bylo uvažováno $\gamma = \rho = 7850 [kg \cdot m^{-3}]$ Ve skutečnosti $\rho > \gamma$ z toho vyplývá, že potřebný výkon motoru by byl ještě nižší.

5.3 NÁVRH POHONU

Na základě předchozích výpočtů z kapitoly 5.2.4 jsem pro pohon šneku zvolil trojfázový asynchronní elektromotor firmy NORD. Typové označení SK 02-63L/4. Motor je dodáván spolu s čelní převodovkou téže společnosti.

Parametry elektromotoru:

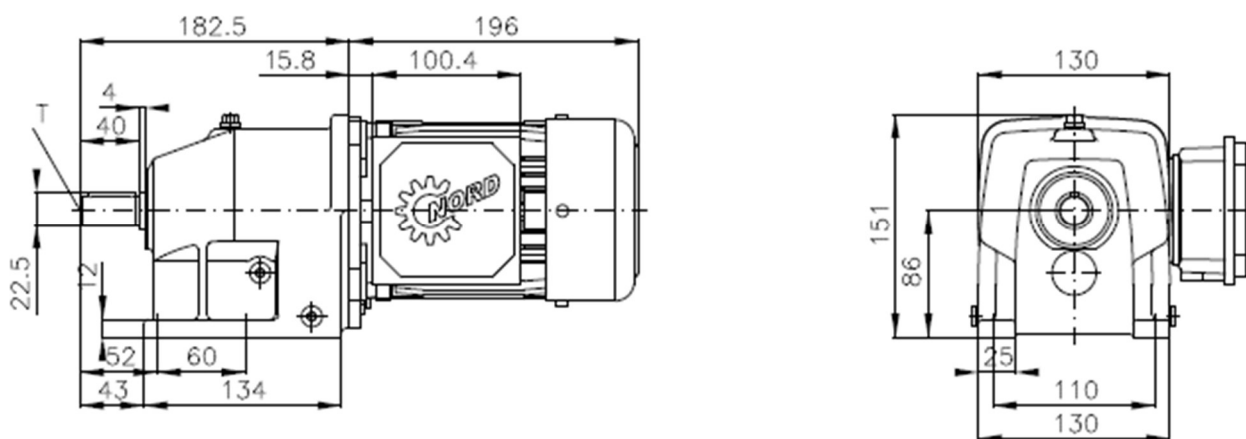
Tab.1.: Základní parametry elektromotoru [22]

Otáčky motoru	n_1	1390 [ot/min]
Výkon	P_m	0,18 [kW]
Frekvence	f	50 [Hz]
Hmotnost	m	12 [kg]

Parametry převodovky:

Tab.2.: Základní parametry převodovky [22]

Výstupní krouticí moment	M_k	92,3 [Nm]
Výstupní otáčky	n_2	19 [min^{-1}]
Počet stupňů		2:1
Převod	i	73,06



Obr. 27 Rozměry elektromotoru s plochou převodovkou [22]

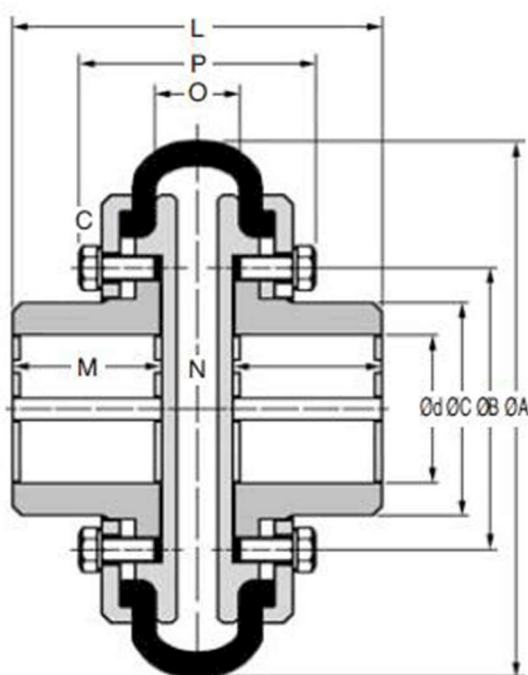
5.4 NÁVRH SPOJKY

Pro tento účel byla zvolena spojka PERIFLEX s katalogovým označením PNA6-206R firmy HPCeurope. Tato spojka umožní přenášet krouticí moment a zároveň tlumit vibrace, navíc je bezúdržbová.

Tab.3.: Základní parametry spojky PNA6-206R

Maximální točivý moment	M_{max}	300 [Nm]
Nominální točivý moment	M_n	100 [Nm]
Maximální otáčky	n_{max}	5000[min^{-1}]

$\varnothing A = 136 \text{ mm}$
 $\varnothing B = 68 \text{ mm}$
 $\varnothing C = 55 \text{ mm}$
 $\varnothing d = 20 \text{ mm}$
 $L = 110 \text{ mm}$
 $M = 45 \text{ mm}$
 $P = 74 \text{ mm}$
 $O = 18 \text{ mm}$
 $N = 8 \text{ mm}$



Obr. 28 Rozměry spojky PERIFLEX [29]

5.4.1 KONTROLA PERA NA OTLAČENÍ

Přenos kroutícího momentu mezi spojkou a hřídelí probíhá přes pero těsně. Na základě známého výstupního kroutícího momentu jsem zvolil pero ČSN 02 2562 - 6e7 x 6 x 40. Nyní lze provést kontrolu pera na otláčení dle vztahu 5)

$$p = \frac{F}{t_1 \cdot (l - b)} = \frac{2 \cdot M_k}{d \cdot t_1 \cdot (l - b)} \quad [\text{MPa}] \quad (5)$$

$$p = \frac{2 \cdot 92,3}{0,020 \cdot 0,0021 \cdot (0,040 - 0,006)} = 108,6 \text{ MPa}$$

$$p \leq p_{DOV}$$

$$108,6 < 120 \text{ [MPa]}$$

Kde:

p_{Dov} ...dovolený tlak z lit. [26] str.1081 [MPa]

dprůměr hřídele [mm]

M_khnací kroutící moment, zjištěno z katalogu výrobce pohonu a převodovky [22] [Nm]

5.5 ZATÍŽENÍ LOŽISEK

RADIÁLNÍ ZATÍŽENÍ

Pro správnou volbu ložisek je potřeba určit síly, které na ně působí. Jednou z nich je radiální síla, která vzniká z hmotnosti šneku, šnekové hřídele a čepů.

$$F_{RC} = m_c \cdot g \quad [\text{N}] \quad (6)$$

$$F_{RC} = 25,2 \cdot 9,81 = 247 \text{ N}$$

Kde:

m_ccelková hmotnost šneku s hřídelí, zjištěno na základě 3D modelu v programu SolidWorks. Při výpočtu se uvažovala hustota šnekovnice i hřídele $\rho = 7850 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}]$.

AXIÁLNÍ ZATÍŽENÍ

Pro výpočet axiálního zatížení ložisek je nejprve nutné určit úhel stoupání šnekovnice dle následujícího vztahu:

$$\text{tg } \alpha = \frac{s}{\pi \cdot D_s} \quad [^\circ] \quad (7)$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \left(\frac{0,2}{\pi \cdot 0,2} \right) = 17^\circ 39'$$

Další pro výpočet nezbytnou veličinou je účinný poloměr šnekovnice. Ten lze vyjádřit dle vztahu 8) získaného na základě lit. [4], str. 268

$$R_s = 0,8 \cdot D_s \text{ [m]} \quad (8)$$

$$R_s = 0,8 \cdot 0,2 = 0,16 \text{ m}$$

Druhou silou zatěžující ložiska je axiální síla vznikající z dopravovaného materiálu. Tuto sílu lze vypočítat dle vztahu 9) z lit. [4], str. 268 s využitím předchozích dvou rovnic.

$$F_A = \frac{M_k}{R_s \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi)} \quad [\text{N}] \quad (9)$$

$$F_A = \frac{92,3}{0,16 \cdot \text{tg}(17^\circ 39' + 20^\circ)} = 748 \text{ N}$$

Kde:

M_khnací kroutící moment, zjištěno z katalogu výrobce pohonu a převodovky [22] [Nm]

α úhel stoupání šnekovnice, vypočteno dle vztahu 7) [°]

φúhel tření mezi materiálem a šnekovnicí, dle lit. [30] se volí pro partikulární materiál v rozmezí ($18^\circ \div 22^\circ$)

5.6 NÁVRH LOŽISEK

Na základě předchozí kapitoly 5.4 lze nyní navrhnout konkrétní ložiska pro vypočtené zatížení. Pro další výpočty budeme uvažovat působení axiální síly pouze u ložiska na straně pohonu.

5.6.1 LOŽISKO NA VÝSTUPU

U tohoto ložiska se nepřenáší žádná axiální síla, tudíž pro výpočet trvanlivosti uvažujeme pouze sílu radiální. Pro následující výpočty ložisek uvažujeme rovnoměrné rozdělení této síly, tedy, že na každé ložisko působí síla $F_R = \frac{F_{RC}}{2} = 123 \text{ N}$.

Na výstupu dopravníku jsem zvolil ložisko firmy SKF. Jedná se o dvouřadé naklápěcí ložisko s těsněním katalogového označení 2205 E-2RS1TN9. Toto ložisko je schopno snášet mírnou nesouosost mezi hřídelí a tělesem. Mazání zde bude probíhat plastickým mazivem MT47. Mazání u ložisek s těsněním na obou stranách má životnost po celou dobu trvanlivosti ložiska. Lze tedy říci, že takové ložisko je téměř bezúdržbové.

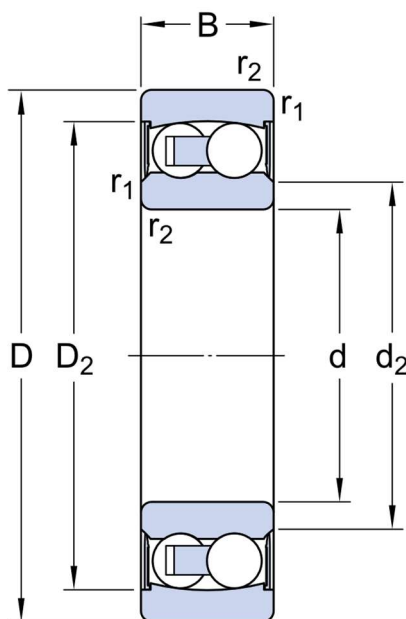
$$D = 52 \text{ mm}$$

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$B = 18 \text{ mm}$$

$$d_2 = 31 \text{ mm}$$

$$D_2 = 46,21 \text{ mm}$$



Obr.29 Dvouřadé naklápěcí ložisko [25]

Tab.4.: Parametry dvouřadého naklápěcího ložiska 135 TN9 [25]

Základní dynamická únosnost	C_R	14,3 [kN]
Mezní otáčky	n	9000 [min^{-1}]
Výpočtový součinitel	Y_1	2,2
Výpočtový součinitel	Y_2	3,5

TRVANLIVOST

Trvanlivost ložiska se určí dle vztahu 9) dle lit. [26] následovně:

$$L_{10} = \left(\frac{C_R}{P} \right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \quad [\text{hod}] \quad (10)$$

$$L_{10} = \left(\frac{14,3}{0,123} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 19} = 1,4 \cdot 10^9 \text{ hod}$$

Vztah 10) dle [25] kde:

C_Rzákladní dynamická únosnost viz. tab.4) [kN]

Pdynamické ekvivalentní zatížení, v našem případě je rovno F_R , jelikož zde nepůsobí axiální síla. [kN]

pje rovno 3 pro kuličková ložiska

5.6.2 LOŽISKO NA VSTUPU

Při výpočtu tohoto ložiska je třeba brát v potaz i axiální sílu, která na něj během provozu bude působit. Stejně jako u minulého, i zde bylo zvoleno ložisko firmy SKF. Nyní se ovšem jedná o soudečkové ložisko s firemním označením BS2-2207-2RS/VT143. I zde je ložisko utěsněno na obou stranách a pro funkci mazání bylo zvoleno plastické mazivo MT47. Soudečkové ložisko dokáže vyrovnávat nesouosost, která během provozu může vznikat a zároveň je schopno přenášet axiální zatížení.

$$D = 72\text{mm}$$

$$d = 35\text{mm}$$

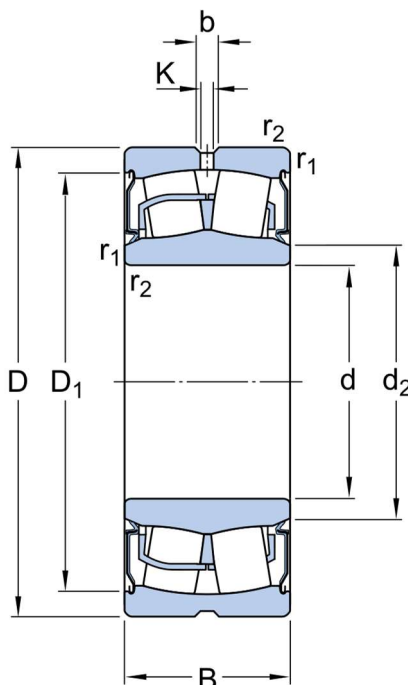
$$B = 28\text{mm}$$

$$d_2 = 42,4\text{mm}$$

$$D_1 = 65,3\text{mm}$$

$$b = 4,4\text{mm}$$

$$K = 2$$



Obr. 30 Soudečkové ložisko [25]

Tab. 5.: Parametry soudečkového ložiska 21305 CC [25]

Základní dynamická únosnost	C_R	88,8 [kN]
Mezní otáčky	n	4300 [min^{-1}]
Výpočtový součinitel	Y_1	2,2
Výpočtový součinitel	Y_2	3,3
Výpočtový součinitel	e	0,31

$$\frac{F_A}{F_R} \leq e \quad (11)$$

$$\frac{748}{123} = 6,08 > 0,31$$

DYNAMICKÉ EKVIVALETNÍ ZATÍŽENÍ

$$P = Y_1 \cdot F_R + Y_2 \cdot F_A \quad [N] \quad (12)$$

$$P = 2,2 \cdot 123 + 3,3 \cdot 748 = 2739 \text{ N}$$

TRVANLIVOST

$$L_{10} = \left(\frac{C_R}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \quad [\text{hod}] \quad (13)$$

$$L_{10} = \left(\frac{88,8}{2,7}\right)^{3,33} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 19} = 99 \cdot 10^6 \text{ hod}$$

U tohoto typu zařízení se trvanlivost ložisek pohybuje v rozmezí 20 000÷30 000 hodin. Z výsledku trvanlivostí obou ložisek se tedy dá říci, že jsou značně předimenzovaná. Z důvodu cenové dostupnosti, jsem se ovšem rozhodl je ponechat. Změna ložisek by také přinášela nutnost úpravy konstrukce navazujících součástí. [26]

5.7 NÁVRH ŠNEKOVÉ HŘÍDELE

Pro tento účel byla zvolena trubka TR 45x5 – ČSN 42 6711. Materiál trubky STP 360 (11 353.1) tedy konstrukční nelegovaná ocel normalizačně žíhaná. Jedná se o trubku bezešvou hladkou kruhového průřezu. Alternativou k této volbě byla kruhová tyč podobných rozměrů. Trubka však vykazuje vysokou odolnost v ohybu a zároveň razantně nižší hmotnost než-li tyč. [27]

Při návrhu je nutno uvažovat zatížení hřídele, a to především na ohyb a krut. Dále byla zkontrolována hřídel z hlediska průhybu, a to především pro následné zvolení vůle mezi šnekovnicí a žlabem.

Nejprve bylo počítáno napětí od ohybu dle vztahu 14) kde:

m_c hmotnost šnekovnice a hřídele [kg]

l délka trubky [mm]

D_h vnější průměr trubky [mm]

d_hvnitřní průměr trubky [mm]

Poté se určila hodnota napětí v krutu pomocí vztahu 18)

OHYB

$$M_o = \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{l_h^2}{2} - \frac{l_h^2}{4} \right) = \frac{q \cdot l_h^2}{8} = \frac{F_{RC} \cdot l_h}{8} = \frac{m_c \cdot g \cdot l_h}{8} \quad [Nm] \quad (14)$$

$$M_o = \frac{25,2 \cdot 9,81 \cdot 1,9}{8} = 58,66 \text{ Nm}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot (D_h^4 - d_h^4)}{32 * D} \quad [m^3] \quad (15)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot (0,045^4 - 0,035^4)}{32 * 0,045} = 5,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad [Pa] \quad (16)$$

$$\sigma_o = \frac{117,43}{5,67 \cdot 10^{-6}} = 10345679 \text{ Pa} = 10,35 \text{ MPa}$$

KRUT

$$W_k = \frac{\pi \cdot (D_h^4 - d_h^4)}{16 * D} \quad [m^3] \quad (17)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot (0,045^4 - 0,035^4)}{16 * 0,045} = 1,13 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \quad [Pa] \quad (18)$$

$$\tau_k = \frac{110}{1,13 \cdot 10^{-5}} = 9734513,27 \text{ Pa} = 9,7 \text{ MPa}$$

REDUKOVANÉ NAPĚTÍ

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_k^2} \quad [MPa] \quad (19)$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{20,7^2 + 3 \cdot 9,7^2} = 19,71 \text{ MPa}$$

BEZPEČNOST

$$k = \frac{Re}{\sigma_{RED}} \quad [-] \quad (20)$$

$$k = \frac{235}{19,71} = 11,92$$

MAXIMÁLNÍ PRŮHYB

$$J = \frac{\pi \cdot (D_h^4 - d_h^4)}{32} \quad [mm^4] \quad (21)$$

$$J = \frac{\pi \cdot (45^4 - 35^4)}{32} = 255254,4 \text{ mm}^4$$

$$y_m = \frac{5 \cdot F_{RC} \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot J} \quad (22)$$

$$y_m = \frac{5 \cdot 247 \cdot 1900^3}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 255254,4} = 0,41 \text{ mm}$$

Jak je patrné z výsledku, zvolená trubka TR 45x5 splňuje podmínku vzhledem k meznímu stavu pružnosti. Maximální průhyb je takřka zanedbatelný, a proto lze zvolit minimální vůli mezi šnekovnicí a žlabem.

Ve vztahu 20) je Re-mez kluzu v tahu materiálu volena na základě lit. [19] str.54

Pro výpočet průhybu byly použity vztahy 21),22) z lit. [26], str.1102 kde:

J.....polární kvadratický moment k těžišti [mm⁴]

E.....modul pružnosti oceli [MPa]

5.8 NÁVRH ŽLABU

Pro tento účel, byl zvolen plech o tloušťce 6 mm z ořezuvzdorné oceli HARDOX 400 EN 10029 od firmy FERONA a.s. Vůle mezi šnekovnicí a žlabem byla zvolena s ohledem na předchozí výpočet průhybu na 5 mm a excentricita uložení je zde ve velikosti 3 mm. Jelikož je celková délka žlabu pouhých 1910 mm tak se žlab vyrobí z 1 kusu plechu tvářením. Z důvodu bezpečnosti jsem se rozhodl opatřit žlab horním víkem, aby se zamezilo riziku vpadnutí nevhodných objektů do pracovního prostoru dopravníku, které by jej mohly poškodit. Dalším důvodem krytování žlabu byla bezpečnost na pracovišti. Ve výstupní části dopravníku je ke žlabu přivařena výsypka. Násypka je pak utvořena z částí horního víka.

5.9 NÁVRH LÍCOVANÝCH ŠROUBŮ

Přenos kroutícího momentu z převodovky přes spojku na šnekovou hřídel je uskutečněn pomocí dvojice lícovaných šroubů otočených vůči sobě o 90 stupňů.

5.9.1 PRŮMĚR LÍCOVANÉHO ŠROUBU

$$d_s = (0,2 \div 0,3) \cdot d_\zeta \text{ [mm]} \quad (23)$$

$$d_s = (0,2 \div 0,3) \cdot 35 = 7 \div 10,5 \text{ mm}$$

Dle normy ČSN 02 1112 volím šroub M10 x 55-5.6 s průměrem $d_s = 11 \text{ mm}$

Vztah 23) dle lit. [31] Kde:

d_ζprůměr čepu [mm]

5.9.2 PEVNOSTNÍ KONTROLA**NAPĚTÍ VE SMYKU ŠROUBŮ**

Dovolené napětí ve smyku dle lit. [28], str. 54 pro materiál E295 (11 500) $\tau_{dov} = 40 \div 60 \text{ MPa}$, zvolená hodnota $\tau_{dov} = 40 \text{ MPa}$

$$\tau_s = \frac{4 \cdot M_k}{\pi \cdot d_s^2 \cdot d_\zeta \cdot i} \text{ [MPa]} \quad (24)$$

$$\tau_s = \frac{4 \cdot 92,3 \cdot 10^3}{\pi \cdot 11^2 \cdot 40 \cdot 2} = 12,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_s < \tau_{dov}$$

TLAK V HRÍDELI

Dovolený tlak v hřídeli dle lit. [28], str. 54 pro materiál S235JRG1 (11 373) $p_{dovh} = 45 \div 70 \text{ MPa}$, zvolená hodnota $p_{dovh} = 45 \text{ MPa}$

$$p_h = \frac{6 \cdot M_k}{d_\zeta^2 \cdot d_s \cdot i} \text{ [MPa]} \quad (25)$$

$$p_h = \frac{6 \cdot 92,3 \cdot 10^3}{40^2 \cdot 11 \cdot 2} = 15,7 \text{ MPa}$$

$$p_h < p_{dovh}$$

TLAK V NÁBOJI

Dovolený tlak v náboji dle lit. [28], str. 54 pro materiál STP350 (11 353) $p_{dovn} = 60 \div 80 \text{ MPa}$, zvolená hodnota $p_{dovn} = 60 \text{ MPa}$

$$p_n = \frac{4 \cdot M_k}{d_s \cdot (D_h^2 - d_\zeta^2) \cdot i} \text{ [MPa]} \quad (26)$$

$$p_n = \frac{4 \cdot 92,3 \cdot 10^3}{11 \cdot (45^2 - 35^2) \cdot 2} = 39 \text{ MPa}$$

$$p_n < p_{dovn}$$

ZÁVĚR

Cílem této práce byl konstrukční návrh šnekového dopravníku třísek. Při návrhu jsem vycházel ze zadaných parametrů, které byly získány z předchozí rešeršní studie a komunikace s firmami zabývající se touto problematikou. Veškeré výpočty byly provedeny dle odborných literatur uvedených v seznamu. Při výpočtech byla také využita platná norma týkající se šnekového dopravníku.

Ve výpočtové zprávě byl nejprve na základě zadaných parametrů vypočten ideální průměr šnekovnice. Následoval výpočet potřebného výkonu pohonu, z něhož byl poté zvolen vhodný elektromotor s převodovkou z katalogu výrobce. S ohledem na výstupní kroutící moment z převodovky byla následně zvolena pružná spojka tlumící vznikající rázy. V další části bylo řešeno zatížení ložisek a výpočet jejich trvanlivostí. Dále pak zpráva obsahuje pevnostní kontrolu šnekového hřídele, kde se uvažovalo namáhání na ohyb a krut. V jejím závěru lze pak najít návrh lícovaných šroubů přenášejících kroutící moment z převodovky a pevnostní kontrolu na otlačení hřídele a náboje.

Jelikož se ideální průměr šnekovnice liší od skutečného pouze o 1 mm, nebyl počítán rozdíl mezi zadaným dopravním výkonem a skutečným výkonem, který by byl zanedbatelný. Dle mnou zvoleného elektromotoru a převodovky, budou otáčky šneku 19 min^{-1} , ty lze ovšem regulovat pomocí měniče frekvence. Lze tedy říci, že navržený dopravník splňuje vytyčené požadavky.

Dalším obsahem této práce je i výkresová dokumentace, kterou lze najít v příloze. Ta byla vypracována v programu AutoCAD. Jedná se o výkres sestavy a jednotlivých částí dopravníku.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Pásové dopravníky třísek a odpadu* [online]. c2010 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://www.broxtec.cz/page/67985.pasove-dopravniky-trisek-odpadu-clankove-mbc/>
- [2] HUMÁR, Antonín. *Technologie I: Studijní opory pro magisterskou formu studia*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003.
- [3] *Conveyors. Industrial Conveyor Specialists* [online]. New London, c2018 [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: <https://www.titanconveyors.com/industry-solutions/machining-tool-chips#1103233-gallery> ----- jiný obrázek
- [4] BIGOŠ, Peter. *Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení*. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012, 356 s. : il. ISBN 978-80-553-1187-6.
- [5] *Hennig* [online]. Hennig, c2016-2018 [cit. 2018-11-08]. Dostupné z: <https://www.hennigworldwide.com/cz/hinge-belt>
- [6] *Auger Conveyor* [online]. Jorgensen Conveyors, 2018 [cit. 2018-11-08]. Dostupné z: <https://www.jorgensenconveyors.com/product/auger-conveyors-screw-conveyor-manufacturer-screw-auger/>
- [7] *Hrablové dopravníky* [online]. Aš: ASTOS Machinery, c2013-2016 [cit. 2018-11-08]. Dostupné z: <https://www.astos.cz/nase-vyroby/dopravnikove-systemy/hrablove-dopravniky/>
- [8] *Třískové hospodářství* [online]. Hennlich, c2018 [cit. 2018-11-09]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/>
- [9] DRAŽAN, František a Karel JEŘÁBEK. *Manipulace s materiálem: vysokošk. učebnice*. Praha: SNTL, 1979, 454 s.
- [10] *Dopravníky* [online]. Mayfran [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <http://www.mayfran.com/home.html>
- [11] HON, Pavel. *Třískové hospodářství obráběcího stroje*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2011.
- [12] *Prab* [online]. c2018 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://www.prab.com/>
- [13] *Nederman* [online]. [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <https://www.nederman.com>
- [14] BÍLEK, Vít. *Třískové hospodářství obráběcího stroje*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2012.
- [15] *Sanitary Industry* [online]. c2016 [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <http://www.sanitaryindustry.com>
- [16] *Knoll* [online]. [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <https://www.knoll-mb.de>
- [17] *TECNIMETAL* [online]. c2017 [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <http://www.tecnimetal.cz/>

- [18] *Tvar třísky a geometrie nástroje* [online]. [cit. 2019-02-07]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1816>
- [19] *Experimentální metody v obrábění* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_komplet_finish.pdf
- [20] *Harpunový dopravník* [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.al-industrie.fr/convoyeurs-a-copeaux-g1/convoyeurs-a-harpons-s9/harpon-module-standard-p20.html>
- [21] *Harpoon conveyor* [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.sfh.fr/en/compactor/harpoon-conveyor.html>
- [22] *NORD-Poháněcí technika,s.r.o* [online]. c2015 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: https://www.nord.com/cms/cz/hp_home_CZ.jsp
- [23] GAJDUŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. Brno: Vysoké učení technické, 1988.
- [24] DRAŽAN, František. *Teorie a stavba dopravníků: určeno pro stud. fak. strojní*. Praha: ČVUT, 1983.
- [25] *SKF* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/index.html>
- [26] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [27] *FERONA a.s.* [online]. c2017 [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://www.ferona.cz/>
- [28] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, xiv, 927 s. : obr., tabulky. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [29] *HPC: Mechanical components* [online]. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.hpceurope.com/gb/>
- [30] MALÁŠEK, Jiří. *Šnekový dopravník* [online]. s. 4 [cit. 2019-03-21]
- [31] KRÍŽ, Rudolf. *Stavba a provoz strojů I. Části strojů*. Praha: SNTL, 1977, 323 s. : ; il.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ϕ	[°]	Úhel střihu
ψ	[%]	Stupeň plnění žlabu
φ	[°]	Úhel tření mezi materiálem a žlabem
γ	[kg·m ⁻³]	Sypná hmotnost materiálu
α	[°]	Úhel stoupání šnekovnice
W	[-]	Objemový součinitel třísek
ϱ	[kg·m ⁻³]	Hustota ocelových třísek
ρ	[kg·m ⁻³]	Měrná hmotnost ocelových třísek
w	[-]	Globální součinitel odporu
v	[m·s ⁻¹]	Střední dopravní rychlost
t	[m]	Tloušťka plechu
S	[m ²]	Plocha
s	[m]	Stoupání šnekovnice
Re	[MPa]	Mez kluzu v tahu
R	[m]	Poloměr šnekovnice
P_m	[W]	Výkon pohonu
P	[N]	Dynamické ekvivalentní zatížení
p	[MPa]	Tlak
n	[ot·s ⁻¹]	Otáčky šneku
m	[kg]	Hmotnost motoru
l_h	[m]	Délka šnekové hřídele
L_d	[m]	Dopravní vzdálenost
k	[-]	Návrhový součinitel
J	[mm ⁴]	Polární kvadratický moment
i	[-]	Převod
h	[m]	Dopravní výška
g	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení
f	[Hz]	Frekvence
D_s	[m]	Průměr šnekovnice
d_h	[mm]	Malý průměr šnekové hřídele
D_h	[mm]	Velký průměr šnekové hřídele

D	[mm]	Vnější průměr ložiska
d	[mm]	Vnitřní průměr ložiska
B	[mm]	Šířka ložiska
τ_s	[MPa]	Napětí ve smyku
τ_k	[MPa]	Napětí v krutu
τ_{dov}	[MPa]	Dovolené napětí ve smyku
σ_o	[MPa]	Napětí v ohybu
σ_{RED}	[MPa]	Redukované napětí
γ_m	[mm]	Maximální průhyb
p_n	[MPa]	Tlak v náboji
p_{dovn}	[MPa]	Dovolený tlak v náboji
p_{dovh}	[MPa]	Dovolený tlak v hřídeli
p_{DOV}	[MPa]	Dovolený tlak
p_h	[MPa]	Tlak v hřídeli
n_{max}	[$ot \cdot min^{-1}$]	Maximální otáčky spojky
n_{kr}	[$ot \cdot s^{-1}$]	Kritické otáčky
n_2	[$ot \cdot min^{-1}$]	Výstupní otáčky převodovky
n_1	[$ot \cdot min^{-1}$]	Otáčky motoru
m_c	[kg]	Hmotnost šnekovnice s hřídelí
d_{ξ}	[mm]	Průměr šroubu
d_{ζ}	[mm]	Průměr čepu
c_H	[–]	Korekční součinitel
Y_2	[–]	Výpočtový součinitel
Y_1	[–]	Výpočtový součinitel
W_o	[m^4]	Průřezový modul v ohybu
W_k	[m^4]	Průřezový modul v krutu
V_t	[dm^3]	Objem volně ložených třísek
V_m	[dm^3]	Objem odebraného materiálu
R_s	[m]	Účinný poloměr šnekovnice
Q_v	[$\frac{m^3}{hod}$]	Dopravní objemový výkon
M_o	[N·m]	Ohybový moment
M_n	[Nm]	Nominální točivý moment spojky
M_{max}	[Nm]	Maximální točivý moment spojky



M_k	[N·m]	Výstupní kroutící moment převodovky
L_{10}	[hod]	Trvanlivost ložiska
F_{RC}	[N]	Radiální síla
F_A	[N]	Axiální síla
C_R	[N]	Základní dynamická únosnost



SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

Výkres sestavy	ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK	SD-1-00
Výkres svařence	ŠNEK	SD-3-01
Výrobní výkresy součástí	VSTUPNÍ HŘÍDEL	SD-3-03
	VÝSTUPNÍ HŘÍDEL	SD-3-04
Kusovník sestavy	ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK	SD-4-05